脳定位放射線治療におけるGTV体積と位置誤差が放射線治療計画の線量分布パラメータに及ぼす影響

魚沼基幹病院 放射線技術科 ○井開 章博(Ikai Akihiro)
上村 直史 桑原 亮太 栗林 俊輝
金子 隼汰 阿部 一樹 高頭 浩正
新潟大学医歯学総合病院 放射線治療科 棚邊 哲史
魚沼基幹病院 放射線治療科 川口 弦

【はじめに】

一般的に脳定位放射線治療（Stereotactic Radiotherapy：SRT）は1 mm未満の照射位置精度が求められる[1)]。SRTにおける治療計画装置上の位置誤差に関する先行研究では、ファントムを対象とした報告が多く、床例を用いた検討は少ない。本研究では臨床症例を対象とし、腫瘍形状と大きさを考慮し、GTV（Gross tumor volume）体積ごとにグループ化した。各グループの位置誤差によるSRTの線量分布の相違を治療計画装置で評価した。

【方法】

2019年6月から2022年3月の期間に当院にて転移性脳腫瘍に対して、1部位のターゲットに対する4分割SRTを実施した45症例56病変（年齢中央値73歳）を対象とした。4分割以外で治療した症例と総線量24 Gy未満の症例を除外した。治療計画CT装置はSOMATOM Definition AS（Siemens Healthineers）、リニアックはTureBeam ver.2.7（Varian Medical Systems）、MLCはMillennium 120 leaf、治療計画装置はEclipse ver.13.6（Varian Medical Systems）を用いた。SRT治療計画はGTV D95%＝100%、PTVマージン1 mm、MLCマージン1 mm、アイソセンタ位置：GTV中心、正常脳：GTV-Brain、線量計算アルゴリズム：AcurosXB ver.13.6、計算グリッドサイズ1 mm、Energy：6X-FFF、ビームアレンジメントはTable 1に示すようにdynamic conformal arc therapyを用いたノンコプラナーを含む4-partial arc、計画用CT FOV：300 mm、スライス厚1 mmで作成した。Table 2に示すようにGTV体積を5つのグループに分類し、Fig.1に示すSRTの臨床治療計画のアイソセンタ座標のx、y、z軸方向に各々+0.5 mm、+1.0 mm、+1.5 mm、+2.0 mmの位置誤差を付加した治療計画を作成した。治療計画はMU値等を含む臨床計画と同条件で線量再計算を行なった。位置誤差0 mmを基準とした腫瘍（GTV）と正常脳のDVHパラメータの平均値の相違を評価した。腫瘍（GTV）に関する評価項目は、GTV D98%（腫瘍制御の予測因子[2)]）、Paddik

Table 1 SRTにおけるビームアレンジメントの例

	Gantry	Collimator	Couch
Field 1	40 - 160	45	0
Field 2	40 - 160	135	45
Field 3	200 - 320	135	315
Field 4	200 - 320	45	270

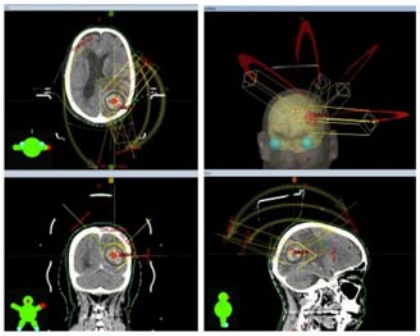

Fig.1 SRT治療計画の線量分布

Table 2 GTV体積グループの分類

GTV体積グループ	平均体積	等価球径	病変数	処方線量(Gy)			
				中央値	最頻値	最小値	最大値
0.1 cc以上 1.0 cc未満	0.54 cc	0.7 - 1.2 mm	16	32	32	28	32
1 cc以上 2 cc未満	1.5 cc	1.3 - 1.5 mm	14	32	32	24	32
2 cc以上 5 cc未満	3.1 cc	1.6 - 2.0 mm	12	32	32	24	32
5 cc以上 15 cc未満	9.3 cc	2.1 - 3.0 mm	8	24	24	24	28
15 cc以上 30 cc未満	20.3 cc	3.1 - 3.7 mm	6	24	24	24	28

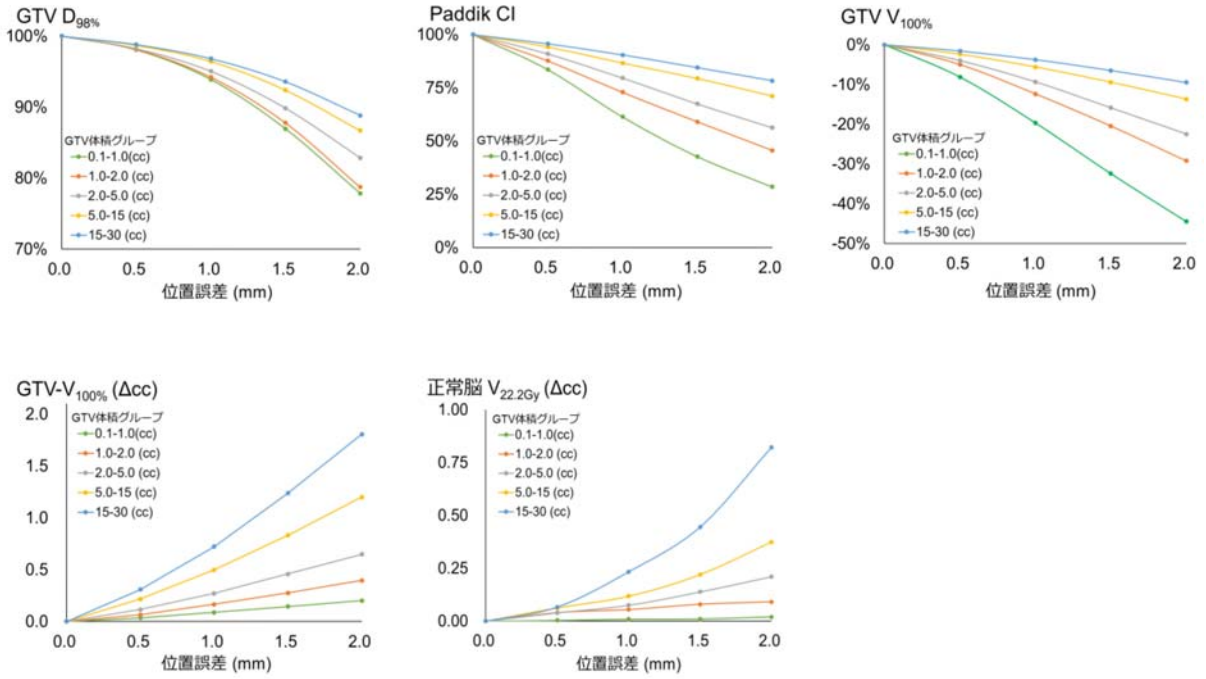

Fig.2 腫瘍および正常脳の位置誤差によるDVHパラメータの推移

Conformity Index（以下Paddik CI）（線量収束性[3]）、GTV V100%（100%線量でカバーされるGTV体積）、GTV-V100%（100%線量が入らないGTV体積）とした。正常脳に関する評価項目は、正常脳 V22.2 Gy（放射線脳壊死の予測因子[4]）とし、$\alpha/\beta=2.0$のLQモデルを使用し4分割において単回照射V12 Gyと等価となる線量を表す。

【結果・考察】

Fig.2に腫瘍と正常脳の位置誤差によるDVHパラメータの推移を示す。腫瘍に関するパラメータの推移では、GTV体積が小さいグループほど位置誤差によりGTV D98%、Paddik CIおよびGTV V100%は低下した。一方、GTV体積が大きいグループほど位置誤差によりGTV-V100%は増加した。この結果とTakizawaらの先行研究[5]の比較から、位置誤差により腫瘍制御率（Tumor Control Probability: TCP）の低下率が大きくなる可能性がある。正常脳に関するパラメータの推移では、GTV体積が大きいグループほど位置誤差により正常脳 V22.2 Gyが増加した。この結果とKorytkoらの先行研究[6]の比較から、位置誤差による症候性脳壊死のリスクは増加する可能性がある。

【まとめ】

転移性脳腫瘍に対するSRTにおけるGTV体積と位置誤差による線量分布の相違を治療計画装置で評価した。グループ化したGTV体積ごとに腫瘍と正常脳の線量分布パラメータの推移を示し、TCPの低下率および正常脳の脳壊死リスクが増加する可能性が示唆された。

【謝辞】

本研究の一部は、JSPS科研費JP21K07722の助成を受けたものである。

【参考文献・図書】

1) Halvorsen PH, Cirino E, Das IJ, et al. AAPM-RSS Medical Physics Practice Guideline 9.a. for SRS-SBRT. J Appl Clin Med Phys. 2017.
2) Dupic G, Brun L, Molnar I, et al. Significant correlation between gross tumor volume（GTV）D98% and local control in multifraction stereotactic radiotherapy（MF-SRT）for unresected brain metastases. Radiother Oncol. 2021 Jan;154:260-268.
3) Paddick I, Lippitz B. A simple dose gradient measurement tool to complement the conformity index. J Neurosurg. 2006 Dec;105 Suppl:194-201.
4) Milano MT, Grimm J, Niemierko A, et al. Single- and Multifraction Stereotactic Radiosurgery Dose/Volume Tolerances of the Brain. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2021 May 1;110（1）: 68-86.
5) Takizawa T, Tanabe S, Nakano H, et al. The

impact of target positioning error and tumor size on radiobiological parameters in robotic stereotactic radiosurgery for metastatic brain tumors. Radiol Phys Technol. 2022 Jun;15 (2) : 135-146.

6) Korytko T, Radivoyevitch T, Colussi V, et al. 12 Gy gamma knife radiosurgical volume is a predictor for radiation necrosis in non-AVM intracranial tumors. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2006 Feb 1;64 (2) :419-24.